



Fitorremediação para Extração de Chumbo no Solo

Rômulo César Soares Alexandrino⁽²⁾; João José Marques⁽³⁾, Juliano Fernandes Motta⁽⁴⁾, Laís de Castro Silva⁽⁴⁾, Wantuir Filipe Teixeira Chagas⁽²⁾; Alexandre Schulman;⁽⁴⁾ Marcelle Gabriel Cannata.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG)

⁽²⁾ Mestrando em Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras; Lavras, Minas Gerais; romuloalexandrino@yahoo.com.br; ⁽³⁾ Professor; Universidade Federal de Lavras; ⁽⁴⁾ Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Lavras; ⁽⁵⁾ Pós Doutorado, Universidade Federal de Lavras.

RESUMO: Uma das primeiras etapas quando se inicia um programa de fitorremediação de áreas contaminadas é a avaliação da tolerância das espécies vegetais selecionadas ao respectivo contaminante. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de fitorremediação do capim marandu em solo com 6 concentrações testes de Pb. O experimento foi realizado em casa de vegetação, seguindo a Norma ABNT ISO 1211269-2. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. As plantas foram cultivadas em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Após o preenchimento, fertilização e umedecimento dos solos nos vasos, aplicou-se o Pb-nitrato. Visando avaliar os efeitos do Pb na planta, foram avaliados os seguintes parâmetros: altura, diâmetro do caule, produção de matéria seca; translocação de Pb nas plantas; indicação dos limites de tolerância a Pb, capazes de influenciarem a produção. Após a análise dos resultados, constatou-se que o capim Marandu absorveu parte do metal presente no solo sem apresentar sintomas visuais acentuados de toxicidade; as raízes acumularam maiores quantidades do metal que a parte aérea.

Termos de indexação: Chumbo, Capim Marandu, fitorremediação.

INTRODUÇÃO

O capim marandu, também conhecido popularmente como capim-braquiarião é uma gramínea pertencente ao gênero *Brachiaria*, classificada como *Brachiaria brizantha* (Embrapa, 1999).

O marandu pode ser empregado para reduzir a fitotoxicidade de substâncias químicas em áreas com solos contaminados, podendo ser conduzido em áreas agricultáveis. (Carmo, M.L. et al. 2008 & Santos et al., 2007).

Entre os vários poluentes existentes, o chumbo (Pb) é notoriamente, o metal pesado que oferece maior risco de envenenamento nos seres humanos, especialmente nas crianças (Lasat, 2002).

É um elemento não essencial e tóxico causador de grandes efeitos deletérios sobre vários componentes da biosfera. Também é encontrado em

corretivos e fertilizantes e em outros materiais empregados na correção do solo, podendo essa práticas elevar a concentração do elemento (Alloway, 1990 & Kabata-Pendias; Pendias, 2001).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do capim marandu em fertilização do solo com presença de Pb, para posterior utilização em programas de fitorremediação de solos contaminados com este metal.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Minas Gerais seguindo os procedimentos da Norma ABNT ISO 11269-2. Utilizou-se como substrato um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, coletado na camada superficial (0-20 cm), seco ao ar, passado em peneira de 2 mm. Os teores de Pb, Zn e Cd, para caracterização dos solos, foram determinados de acordo com o método USEPA 3051 A (USEPA 1998), utilizando o padrão BCR 142R, relação 1:5, analisados em espectrofotometria de absorção atômica com otimização em forno de grafite. As amostras de matéria seca da parte aérea e raiz foram analisadas seguindo a mesma metodologia.

Antes do plantio, aplicou-se carbonato de Ca p.a. e carbonato de Mg p.a. na relação Ca:Mg 3:1, para elevar a saturação por bases do solo para 60 %, conforme recomendado por Alvarez & Ribeiro (1999).

Os vasos permaneceram incubados por 15 dias, com umidade em torno de 70 % do volume total de poros (VTP). Essa relação e o período de cultivo, iniciaram-se após a estabilização do pH em torno de 6, visando manter o Pb disponível na solução do solo. A seguir, as mudas receberam adubação em mg dm⁻³ de solo, de macro (P: 100, K: 90, Mg: 30) e micronutrientes (B: 0,5; Cu: 1,0; Mn: 3; Mo: 0,15 e Zn: 3), na forma de reagentes p.a. e em solução, segundo Malavolta (1980) adaptado. A adubação de N foi parcelada em 2 aplicações iguais, aos 7 e 14 dias pós germinação de 50% das plantas controle, utilizando-se ureia. A dose de N: 130 mg kg⁻¹ foi balanceada de acordo com a máxima dose de Nitrato de Pb. Os fertilizantes utilizados foram:



cloreto de potássio; cloreto de magnésio; fosfato de amônio monobásico; cloreto de manganês; sulfato de zinco; molibdato de sódio; sulfato de cobre e ácido bórico. Após sete dias foram adicionadas as soluções de Nitrato de Pb. No dia seguinte foram plantadas dez sementes de capim marandu. Após a germinação foi feito o desbaste deixado cinco plantas por vaso.

O acúmulo de Pb nas duas partes das plantas de Capim Marandu foram calculados multiplicando-se seus teores pela produção de matéria seca de cada compartimento da planta.

O potencial das plantas em extrair os metais Pb do solo foi avaliado pelo coeficiente de fitoextração (t) (Henry, 2000). O cálculo de *metal total na planta* foi feito considerando-se o conteúdo de Pb na parte aérea somado ao das raízes (MSR + MSPA). O índice de produção relativa, que traduz a influência do metal na variação de produção de matéria seca da planta (MSR + MSPA), foi calculado pela equação segundo PAIVA; CARVALHO; SIQUEIRA, 2002. Por meio do Índice de translocação (IT) é possível avaliar a capacidade das espécies em translocar o Pb da raiz para a parte aérea, conforme (Paiva; Carvalho; Siqueira, 2002).

Tratamentos e amostragens

Os tratamentos foram constituídos por 6 concentrações testes adicionados ao solo por meio de solução de nitrato de Pb (0, 23, 41, 56, 72, 130, 235 mg/kg) com quatro repetições. Foi utilizada uma espécie de planta: Capim Marandu.

A avaliação foi realizada aos 21 dias após germinação de 50% das plantas controles. A parcela experimental constituiu-se de 5 plantas por vaso de 2 kg de solo. O solo foi mantido com a capacidade de retenção de água a 70%.

Os parâmetros avaliados foram: Matéria Seca da Raiz, Matéria Seca da Parte aérea, altura de plantas e diâmetro do caule.

Os valores dos atributos medidos após a fertilização e no fim do experimento estão apresentados na **Tabela 1**.

Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). Os resultados de valores médios das quatro repetições foram submetidos a teste de Tukey a 5% de probabilidade ou a regressão, utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2000).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos do solo (0 – 20 cm) utilizado como substrato (controle) para

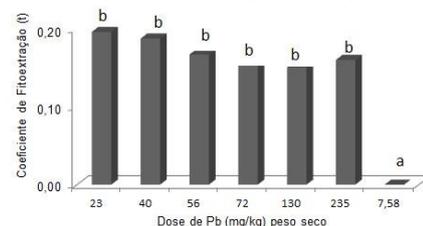
produção de Capim Marandu, antes e após a correção e fertilização do solo.

Atributos químicos e físicos	Valores Antes da Fertilização	Valores no fim do experimento
pH (H ₂ O)	4,8	5,1
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,60	0,20
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,30	1,30
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,10	0,50
K ⁺ (mg dm ⁻³)	32,00	26,00
H ⁺ Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,52	3,24
P – Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	1,13	22,65
B (mg dm ⁻³)	0,19	0,26
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,54	1,87
Zn (mg dm ⁻³)	0,46	4,36
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	41,63	51,88
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	4,14	8,03
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	1,64	1,64
Textura	23% Argila	23% Argila
Pb (mg kg ⁻³)	7,58	---
Zn (mg kg ⁻³)	4,38	---
Cd (mg kg ⁻³)	0,26	---

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o período avaliado não houve diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao grupo controle, para: altura de plantas, diâmetro do caule, índice de produção relativa e índice de translocação. Diferenças foram encontradas para o coeficiente de fitoextração (t) (**Figura 1**). Quanto maior o valor de t maior será a transferência do metal do solo para a planta e, conseqüentemente, maior será também a capacidade do vegetal em retirar contaminante do sistema.

Figura 1 - Coeficiente de Fitoextração do capim marandu



O capim marandu foi capaz de fitoextrair o Pb de todas as concentrações testadas e diferiu estatisticamente apenas do grupo controle o qual não recebeu dose de Pb, ou seja a planta tem a capacidade de retirar Pb e acumulá-lo em sua matéria seca.

Em plantas consideradas “excludoras de Pb”, há uma alteração dos teores na parte aérea, mesmo



que as plantas cresçam sob uma ampla faixa de concentração no metal disponível na solução do solo. Observa-se na **Figura 2** que as plantas cultivadas sob concentração de Pb variando entre 23 mg kg^{-1} e 235 mg kg^{-1} , apresentaram um teor na parte aérea, respectivamente de 12,87 a $43,32 \text{ mg/kg}$ de Pb.

Mesmo com teores balanceados no solo parece que, para o capim Marandu, a concentração de Pb utilizada foi baixa. A espécie estudada não apresentou concentração de Pb na parte aérea, superior às concentrações consideradas normais, de 0,2 a $20,0 \text{ mg kg}$ (Kabata-Pendias e Pendias, 1992). Logo, o Capim Marandu não acumulou concentrações consideradas tóxicas do metal.

Vários estudos descrevem o efeito tóxico do Pb sobre processos, tais como fotossíntese, mitose e absorção de água e sintomas físicos como folhas verdes e escuras, murchamento das folhas mais velhas e, parte aérea e raízes pouco desenvolvidas e pardas. Entretanto, os sintomas tóxicos nas plantas não são específicos (Malavolta, 1994). De fato, os efeitos macroscópicos citados anteriormente não foram totalmente constatados neste trabalho.

Efeitos subcelulares podem ser descritos como: inibição da respiração e fotossíntese devido a distúrbios nas reações de transferência de elétrons (Kabata-Pendias; Pendias, 2001), que podem estar ligados ao efeito observado do murchamento de folhas velhas.

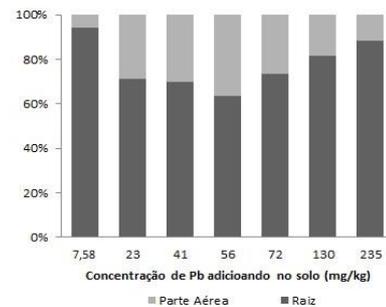
O Pb absorvido se acumula nas paredes celulares, notadamente nas raízes, o que deve contribuir para diminuir seu efeito tóxico para a planta e seu transporte para a parte aérea ou frutos (Faquin, 2005). Esse fato parece explicar o “efeito benéfico” de algumas doses de Pb para as plantas, de acordo com os dados desta pesquisa.

A clorose, em folhas jovens das plantas de Capim Marandu tratadas com Pb, sugere que este elemento interfere na síntese de clorofila e que com o reduzido transporte de Fe e formação dos grupos heme, para as folhas produz deficiência em plantas estressadas (Fodor et al., 1998; Kupper; Kupper; Spiller, 1996).

Quando comparados a raiz à parte aérea (**Figura 2**), pode-se observar uma grande diferença nas concentrações absorvidas por cada compartimento. Percebe-se, que o Pb, se transcola muito pouco das raízes para a parte aérea. Essas informações convergem os trabalhos de Silva et al. (2007a, b) da síntese e caracterização de quelatos de Pb, Cd, Zn e Cu com DTPA. Ambos, segundo os autores, são estruturas de elevado impedimento estérico, notadamente o quelato de Pb. Isso parece justificar a dificuldade de ascensão do metal na planta, já que permanece, em grande parte, quelatizado a

aminoácidos livres, proteínas ou secreções diversas das raízes, ambos ricos em grupamentos doadores de elétrons como o DTPA.

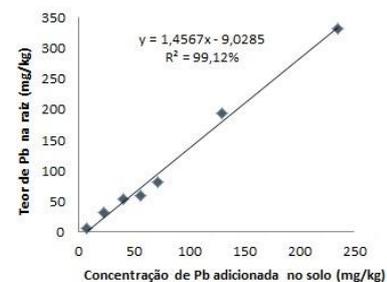
Figura 2 – Porcentual de Pb na Raiz e Parte Aérea (mg kg^{-1}).



Em relação ao teor de Pb na raiz (**Figura 3**), foi verificado efeito significativo, tendo o experimento apresentado boa precisão ($cv=27,36\%$). O teor de Pb nas raízes foi crescente com a dose de Pb adicionada.

O maior acúmulo de Pb ocorreu nas raízes nas doses estatisticamente semelhantes de 130; e 235 mg kg^{-1} (**Figura 2**). Entretanto a matéria seca das plantas do ensaio diferiu apenas do grupo controle. Foi observado, uma maior translocação do Pb das raízes para a parte aérea das plantas de capim marandu nas doses mais baixas (23, 41, 56 mg kg^{-1})

Figura 3 – Teor de Chumbo nas raízes das plantas



Kabata-Pendias e Pendias (2001) postularam que o mecanismo de exclusão do Pb é realmente a deposição radicular. O fenômeno, segundo os autores, ocorre por ligação do metal a polímeros orgânicos insolúveis, alguns dos quais contendo fosfatos como doadores de elétrons, formando precipitados amorfos.

Em solos cultivados com feijão, Carvalho et al. (2008, 2009) confirmaram a baixa translocação de Pb, mostrando que, dependendo da dose presente no solo, desde que insuficiente para eliminar as plantas, e se elas forem capazes de produzir sementes, podem ser consumidas na alimentação sem riscos à saúde devido aos teores insignificantes do metal nos grãos. Os autores, também atribuíram



XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO

28 de julho a 2 de agosto de 2013 | Costão do Santinho Resort | Florianópolis | SC

ao impedimento estérico dos quelatos de Pb com aminoácidos ou substâncias afins da raiz, o motivo da baixa translocação.

Antoniadis et al. (2007) e Oliveira et al. (2009) atribuem a baixa mobilidade do Pb à eletronegatividade ou seja, comparado a outros metais, o Pb possui uma eletronegatividade alta. Outro argumento aceitável são as propriedades periódicas, principalmente raio iônico e densidade, que também são maiores comparados a metais mais móveis.

Devido à inexistência de padrões confiáveis de tolerância dos organismos vivos, animais e vegetais, o Pb, não parece sensato afirmar, com base nos dados deste trabalho, que doses aparentemente inofensivas às plantas também o sejam para os animais consumidores de Capim Marandu.

CONCLUSÕES

O Pb é um metal de baixa translocação em plantas, sendo encontrado em maiores concentrações na raiz que na parte aérea.

As concentrações de chumbo utilizadas para este ensaio foram baixas para predizer risco fitotóxicológicos ou determinar uma dose crítica de toxidez.

O Capim Marandu pode ser utilizado em técnica de fitorremediação, como plantas despoluidoras em áreas com resíduos desse produto.

AGRADECIMENTOS

Aos graduandos do curso de Agronomia da Universidade Federal de Lavras: Marco Túlio de Paiva Silveira e André Luis Caputo e ao bolsista do programa de iniciação científica BIC Júnior da UFLA: Erycles Eduardo Miguel Nunes.

REFERÊNCIAS

a. Periódicos:

ANTONIADIS, V.; MCKINLEY, J. D.; ZUHAIRI, Y. W. Singleelement and competitive mobility measured with column infiltration and batch tests. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 36, n. 1, p. 53-60, Jan. 2007.

CARMO, M.L.; PROCOPIO, S.O.; PIRES, F.R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BARROSO, A.L.L.; SILVA, G.P.; CARMO, E.L.; BRAZ, G.B.P.; SILVA, W.F.P.; BRAZ, A.J.B.P. & PACHECO, L.P. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. *Planta Daninha*, 26:301-313, 2008.

CARVALHO, A. V. S. et al. Produção de matéria seca e de grãos por plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas em solos tratados com metais pesados. *Química Nova*, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 949-955, set./out. 2008.

CARVALHO, A. V. S. et al. Bean plant production of dry matter and grain related to soil citric acid-extractable copper, zinc,

cadmium and lead. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Georgia, v. 40, n. 19, p. 2959-2974, Mar./Apr. 2009.

EMBRAPA, FORMAÇÃO DE PASTAGENS COM CAPIM MARANDÚ (*Brachiaria brizantha* cv Marandú) NOS CERRADOS DO AMAPÁ, Nº 07, nov./99, p.1-3

PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; SIQUEIRA, J. O. Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* Mart. Standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 467-473, jul./ago. 2002.

SANTOS, E.A.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, L.R.; COSTA, M.D. & SILVA, A.A. Fitoestimulação por *Stizolobium aterrimum* como processo de remediação de solo contaminado com trifloxysulfuron sodium. *Planta Daninha*, 25:259-265, 2007. SILVA, V. L. et al. Spectrometric and theoretical investigation of the structures of Cu and Pb/DTPA complexes. *Structural Chemistry*, Deerfield Beach, v. 18 n. 5, p. 605-609, Oct. 2007a.

SILVA, V. L. et al. Structural determination of Zn and Cd-DTPA complexes: MS, infrared, ¹³C NMR and theoretical investigation. *Spectrochimica Acta*, London, v. 68, n. 5, p. 1197-1200, Jan. 2007b.

b. Livro:

FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 182 p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soil and plants*. 3rd ed. Boca Raton: CRC, 2001. 331 p.

MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados mitos, mistificação e fatos*. São Paulo: Produquímica, 1994. 153 p.

d. Trabalho em Anais:

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR - Sistema para Análise de Variância para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FODOR, F. et al. Lead uptake, distribution, and remobilization in cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, Monticello, v. 21, n. 7, p. 1363-1373, July 1998.

e- Normas:

ISO 11.269- 2:2005 (Determination of the effects of pollutants on soil flora — Part 2: Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants)

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Method 3051 A: micro-wave assisted acid digestion of sediments sludge, soils and oils. In: SW-846: test methods for evaluation of solid waste physical and chemical methods, Office of Solid Waste, US. Washington, DC: USEPA, 1198. P. 1-20.

HENRY, J. R. *An overview of the phytoremediation of lead and mercury*. Washington: EPA, 2000. 51 p.

Equações utilizadas

$$t = \frac{\text{metal total na planta}}{\text{metal na solução}}$$

$$IT\% = \frac{MSPA}{(MSR + MSPA)} \times 100$$

$$PR\% = \frac{\text{matéria seca produzida sob a dose do metal}}{\text{matéria seca produzida na ausência do metal}} \times 100$$